



Philosophia Scientiae

Travaux d'histoire et de philosophie des sciences

14-2 | 2010

Louis Rougier, De Torricelli à Pascal

– Chapitre III – Précurseurs et émules de Torricelli

Louis Rougier



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/philosophiascientiae/179>

DOI : 10.4000/philosophiascientiae.179

ISSN : 1775-4283

Éditeur

Éditions Kimé

Édition imprimée

Date de publication : 1 octobre 2010

Pagination : 69-79

ISBN : 978-2-84174-536-4

ISSN : 1281-2463

Référence électronique

Louis Rougier, « – Chapitre III – Précurseurs et émules de Torricelli », *Philosophia Scientiae* [En ligne], 14-2 | 2010, mis en ligne le 01 octobre 2013, consulté le 02 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/philosophiascientiae/179> ; DOI : 10.4000/philosophiascientiae.179

Tous droits réservés

– Chapitre III –

Précurseurs et émules de Torricelli

Au début du XVII^e siècle, on enseignait couramment dans les écoles que l'air était un élément léger, c'est-à-dire qu'il n'avait pas de poids et que les éléments pesants perdaient de leur gravité lorsqu'ils se trouvaient dans leur lieu naturel : l'eau dans l'eau, la terre dans la terre. On s'accordait en outre à déclarer que, si aucune contradiction logique n'empêche la toute puissance créatrice de créer un espace vide, en fait, les forces de la nature sont ainsi agencées que le vide ne peut physiquement se produire, par suite de la tendance des corps à demeurer contigus entre eux, soit qu'une force motrice interne, l'horreur du vide, les porte irrésistiblement dans les lieux où le vide tend à les dissocier d'une façon telle qu'un espace vide en résulterait, comme on le voit lorsqu'on s'épuise à ouvrir [un tonneau ?] dont l'ouverture est bouchée.

Cependant, aux alentours de 1630, divers savants se rencontrent qui soutiennent la pesanteur de l'air et sont disposés à lui attribuer les effets que les péripatéticiens imputaient à l'horreur du vide.

1 – Isaac Beeckman, Baliani, Jean Rey et Mersenne

En des entretiens tenus en 1629 avec Gassendi, un professeur de mathématique de Dordrecht, qui fut collaborateur de Descartes en Hollande, Isaac Beeckman, énonçait, avec une netteté parfaite, l'hypothèse de Torricelli :

J'ai montré, dit-il, que l'air est grave, qu'il nous presse de tous côtés d'une manière uniforme, de sorte que nous ne souffrons pas de cette pression, et que cette gravité est la cause de ce qu'on nomme la fuite du vide.

Il formule même, ce que Pascal établira par expérience, que la pression verticale exercée de haut en bas par un fluide sur une paroi est proportionnelle à la hauteur du fluide qu'elle supporte :

L'air repose sur les choses à la manière de l'eau, et il les comprime selon la hauteur du fluide qu'elles supportent... Les choses se précipitent avec une grande puissance en un lieu vide, à cause de la grande hauteur de l'air qui les surmonte et du poids qui en résulte²¹.

21. Is. Beeckman, *Mathematico-physicarum meditationum, quaestionum, solutionum centuria*, 1644, n° 77, p. 45.

Ce qu'enseignait Beeckman en Hollande, l'année suivante, Baliani l'écrivait en Italie, le 26 octobre 1630, en une lettre à Galilée²² :

Je ne suis plus de l'opinion vulgaire, suivant laquelle il n'y a pas de vide... et, pour tout dire, j'ai commencé de croire que le vide était naturellement possible dans le temps même que j'ai reconnu à l'air un poids sensible... Il n'est pas vrai que le vide répugne à la nature ; il est seulement vrai qu'il ne peut se produire sans une grande violence, et l'on peut déterminer quelle est cette violence requise pour obtenir le vide. D'ailleurs, si l'air est pesant, il n'y a entre l'eau et l'air qu'une différence de plus ou de moins... J'estime que, plus l'air se trouve élevé au-dessus du sol, plus il est léger ; toutefois, je crois son immensité si grande qu'en dépit de la faiblesse de son poids spécifique, si l'on sentait la charge de tout l'air qu'on porte au-dessus de soi, on éprouverait un très grand poids ; il ne serait cependant pas infini ; il aurait une valeur déterminée, en sorte qu'au moyen d'une force proportionnée à ce poids, on pourrait le surmonter et produire le vide... Je juge que cette valeur est telle que l'on pourrait produire le vide avec une violence égale à celle que peut produire l'eau dans un canal dont la longueur ne dépasse pas 60 pieds.

Les esprits en France ne demeuraient pas en reste. Nous avons vu Jean Rey, dans ses *Essays* publiés en 1630, démontrer par le raisonnement la gravité de l'air et préoccupé d'en déterminer la densité. Comme Baliani, il enseigne que l'air se raréfie à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère :

En toutes choses fluides, tant composées que simples ou élémentaires, les parties hautes diffèrent toujours des basses en subtilité et pesanteur : et que cette différence se distingue en autant de degrés que leur matière peut se diviser par leur hauteur en [autant ?] de parties distinctes. Si bien que, si on conçoit une ligne tirée du plus bas d'un des éléments fluides (comme pourrait être l'air) jusqu'à la plus haute surface : tout autant de divers degrés en poids et subtilité seront en cet élément, comme la ligne se pourrait diviser en [autant ?] de parcelles diverses (j'entends matériellement, afin qu'on ne sophistique) et sera toujours la partie suprême la plus mince et moins pesante que la seconde ; la seconde que la troisième :

22. *Le opere di Galileo Galilei*, primo edizione completa, t. II, p. 210, 1852.

et ainsi jusqu'au bout. Car d'attribuer à toutes les parties de chaque élément une même corpulence, c'est démentir le sens, qui nous fait juger l'air (par exemple) plus subtil au sommet d'une montagne, que non pas au pied, dans la plaine²³.

Contre la proposition de Jean Rey qu'« il n'y a rien de léger dans la nature » et que la fuite du vide s'explique par la pesanteur de l'air, Mersenne, dans sa lettre du 1^{er} septembre 1631, maintient la légèreté de l'air et expose une théorie du mouvement cyclique, fondée sur l'hypothèse du plein, voisine de celle que Descartes développait, à la même époque, dans son *Traité du Monde* :

Quant à ce que vous ajoutez que l'air ne descend point dans un puits ou dans les cavernes que par sa pesanteur, ce n'est pas la vraie cause : car il entre et remplit tout de même les trous que l'on fait en haut : par exemple dans les poutres et chevrons des planchers, et l'on vous dira qu'il fait cela par sa légèreté, puisqu'il monte en haut... La cause de ce remplissement d'air tant en haut qu'en bas vient de l'équilibre que la nature reprend : car la terre tirée des cavernes se faisant une place dans l'air, elle le chasse et le contraint de descendre au lieu d'où elle a été tirée²⁴.

Dans sa réponse au Minime, méditée pendant quatre mois, Jean Rey établit fort bien que c'est la pesanteur qui rend raison de l'équilibre dont parle Mersenne et des effets que le vulgaire serait tenté d'attribuer à la légèreté des éléments. Toutes les données de l'explication que donnera, douze ans plus tard, Torricelli de son expérience, sont dans cette épître capitale :

Maintenant venez-vous aux prises avec moi quand vous dites qu'on me dira que l'air qui remplit les trous faits en haut dans les poutres d'un plancher doit être léger puisqu'il monte. Mais je leur dirai qu'il faut par la même raison qu'ils disent l'eau être légère, qui monte dans un bateau par les trous qui se font dans ses planches : ou (pour mieux faire cadrer la comparaison) qui monte dans les trous qu'on peut concevoir être faits dans les voûtes des cavernes qui sont sous les eaux. Ils ne m'accorderont pas ceux-ci : ni moi à eux le reste. *Certes*,

23. *Essays*, p. 16.

24. *Essays*, p. 79.

*l'un et l'autre remplissage se fait par la pesanteur des parties plus hautes, tant de l'air que de l'eau, qui s'affaissent sur les plus basses, les contraignent à pousser celles qui sont près des trous à les remplir*²⁵. Ce que vous-même confirmez, sans y penser, quand vous dites que cela vient de l'équilibre que la nature reprend : ce qui est inévitable et je suis avec vous jusque là.

Mais il faut passer outre et demander d'où vient cet équilibre, à quoi je réponds que *c'est de la pesanteur*, car tout équilibre la suppose : et qui dit équilibre ne dit autre chose qu'une égalité de poids.

Qu'on suspende un ais au-dessus de l'eau, touchant justement sa surface, qu'on le troue tant qu'on voudra, on ne verra jamais que l'eau y monte. Il arriverait même de l'air, cet ais étant suspendu en sa suprême surface, et ce d'autant que la pesanteur de l'un et de l'autre y résiste, et qu'il n'y a point de corps plus pesant au-dessus, qui s'affaissant les y contraignent. Il n'est pas ainsi de leur descente qui n'a pour borne que le plus bas de la terre²⁶.

2 – Descartes

Profondément convaincu de l'unité du savoir, Descartes mettait sa coquetterie à déduire sa physique de sa métaphysique. Ayant ramené la substance matérielle à ce que l'entendement y perçoit clairement et distinctement, « à l'étendue et à son changement tout nud », de là résulteraient le plein et le caractère cyclique de tous les mouvements. C'est en partant apparemment de ces prémisses que Descartes s'efforcera d'expliquer l'expérience du baromètre, dès qu'il en sera saisi, en 1647. Bien auparavant, il avait déjà rendu compte d'une expérience similaire en une lettre que l'on suppose avoir été écrite à Renier, le 2 juin 1631²⁷.

Un tuyau rempli de vif-argent est suspendu à une planche par une des extrémités, qui est fermée ; l'autre est librement ouverte à l'air et néanmoins le vif-argent ne tombe pas. Le correspondant de Descartes demande comment la chose est possible :

25. [NdE – Les phrases en italiques dans cette longue citation sont soulignées par Rougier.]

26. *Essays*, p. 83–89.

27. *D. A.*, I, p. 205–209.

Pour résoudre vos difficultés, imaginez l'air comme de la laine, et l'éther qui est dans ses pores comme des tourbillons de vent, qui se meuvent ça et là dans cette laine, et pensez que ce vent, qui se joue de tous côtés entre les petits fils de cette laine empêche qu'ils se pressent si fort l'un contre l'autre, comme ils pourraient faire sans cela. Car ils sont tous pesants et se pressent les uns contre les autres autant que l'agitation de ce vent le leur peut permettre, si bien que la laine qui est contre la terre est pressée de toute celle qui est au-dessus jusqu'au-delà des nues, ce qui fait une grande pesanteur... Or, cette pesanteur ne se sent pas communément dans l'air, lorsqu'on le pousse vers le haut, parce que si nous en élevons une partie, par exemple celle qui est au point E vers F , celle qui est en F va circulairement vers GHI et retourne en E , et ainsi sa pesanteur ne se sent point, non plus que serait celle d'une roue, si on la faisait tourner, et qu'elle fut parfaitement en balance sur son essieu. Mais, dans l'exemple que vous apportez du tuyau DR , fermé par le bout D , par où il est attaché au plancher AB , le vif-argent que vous supposez être dedans, ne peut commencer à descendre tout à la fois, que la laine qui est en R n'aille vers O , et celle qui est en O n'aille vers P et vers Q , et ainsi qu'il n'enlève toute cette laine qui est en la ligne OPR , laquelle prise toute ensemble est fort pesante. Car le tuyau étant fermé par le haut, il n'y peut entrer de laine, je veux dire d'air, en la place du vif-argent, lorsqu'il descend²⁸.

Ainsi, ce qui empêche le vif-argent de s'échapper du tuyau, c'est qu'en descendant il laisserait dans le haut un vide, où l'air ne pourrait entrer puisque cette extrémité est fermée : le mouvement en cercle du vif-argent et de l'air est impossible, et c'est pourquoi tout demeure immobile. Mais une objection se présente. Pourquoi la fermeture du tube par le haut, si elle interdit l'entrée de l'air, empêcherait-elle la matière subtile, qui pénètre aisément dans le verre, de venir prendre la place du mercure libre désormais de descendre ? N'est-ce pas ce qui se produirait si on opérât avec un tube suffisamment long : le niveau descendrait, comme dans l'expérience barométrique, laissant dans le haut un espace privé d'air ! Descartes semble avoir prévu la difficulté, car il ajoute :

28. [NdE – Voir Schéma de Descartes p. 74, [A. T., I, p. 206]. Rougier n'avait pas prévu la reproduction de ce schéma. Nous l'ajoutons aux quatre planches annoncées, dans la mesure où il nous paraît indispensable à la compréhension du texte de Descartes.]

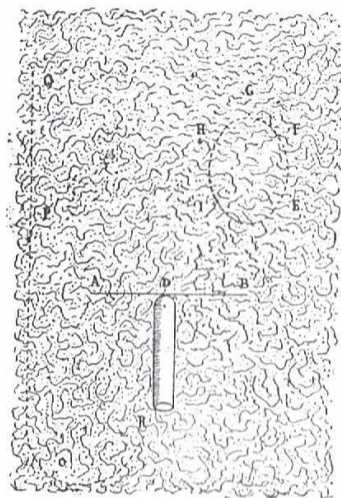


FIGURE 1: Schéma de Descartes

Vous disiez qu'il peut bien entrer du vent, je veux dire de l'éther, par les pores du tuyau. Je l'avoue, mais considérez que l'éther qui y entrera ne peut venir d'ailleurs que du ciel ; car, encore qu'il y en ait partout dans les pores de l'air, il n'y en a pas toutefois plus qu'il n'en faut pour les remplir, et, par conséquent, s'il y a une nouvelle place à remplir, dans le tuyau, il faudra qu'il y vienne de l'éther qui est au-dessus de l'air dans le ciel, et partant que l'air se hausse en sa place.

Et, afin que vous ne vous trompiez pas, *il ne faut pas croire que ce vif-argent ne puisse être séparé du plancher par aucune force, mais seulement qu'il y faut autant de force qu'il en est besoin pour enlever tout l'air qui est depuis là jusqu'au dessus des nuées*²⁹.

Cette dernière phrase est capitale. Elle montre comment, en l'esprit de Descartes, la pression atmosphérique et ses effets se présentent comme une conséquence de l'équilibre réalisé dans la nature par le mouvement circulaire dans le plein. Elle nous laisse prévoir que l'expérience de Torricelli ne prendra pas Descartes au dépourvu et qu'il l'interprètera par sa vraie cause, la pression de la colonne atmosphérique qui fait équilibre au poids du liquide soulevé. Mais, cette cause, il la déduira

29. [NdE – Souligné par L. Rougier.]

d'un principe contestable, celui de la circularité des mouvements qu'il formule, à la même époque dans son *Traité du Monde*, au chapitre IV, intitulé : « Quel jugement il faut se faire du vide ».

Tous les mouvements qui se font au monde sont en quelque façon circulaires, c'est-à-dire que, quand un corps quitte sa place, il rentre toujours en celle d'un autre, et celui-ci en celle d'un autre, et ainsi de suite jusqu'au dernier, qui occupe au même instant le lieu délaissé par le premier : en sorte qu'il ne se trouve pas davantage du vide parmi eux, lorsqu'ils se remuent que lorsqu'ils sont arrêtés.

De ce principe, on ne saurait rigoureusement déduire toutes les particularités de la pression atmosphérique. Pourquoi, en effet, le mouvement circulaire qui amorcerait l'écoulement du vif-argent par le bas du tube se continue-t-il, suivant la direction verticale indiquée sur la figure qui illustre la lettre à Renéri ? C'est évidemment la direction de la pesanteur qui inspire à Descartes et, peut-être, le sentiment confus que, sur tout le plan horizontal pesant par l'ouverture du tube, la pression de l'air est égale. Or, cela n'est pas une suite nécessaire des principes de sa physique. De même, quand il pressera Pascal ou Mersenne de faire l'expérience du Puy-de-Dôme, d'où lui vient cette certitude du succès ? L'impossibilité du vide et le mouvement circulaire de tous les éléments de la matière qui remplissent l'espace ne font nullement prévoir l'abaissement du mercure à mesure qu'on s'élève, si n'intervient pas la notion de la pression du niveau de la colonne d'air sur le liquide de la cuvette. Mais, si cette notion intervient, à quoi servent la négation du vide et l'affirmation du mouvement circulaire ? On voit comment, à côté de l'esprit de système, se fait jour en Descartes une juste intuition des causes véritables des phénomènes naturels ; comment, en marge des principes *a priori* de la physique déductive, s'introduit la notion expérimentale de la pression atmosphérique et de ses effets. Malheureusement, le souci qu'il a de ramener celle-là à ceux-ci lui fait commettre la confusion, que dénonçait si fortement la lettre de Jean Rey, entre l'équilibre réalisé par le mouvement dans le plein et l'équilibre exclusivement dû à la pesanteur de l'air, qui doit seul intervenir pour rentre compte des effets que Galilée et les scolastiques attribuaient à l'horreur du vide.

Descartes n'eut connaissance de l'expérience de Torricelli que fort tard, lors de son passage à Paris, en septembre 1647. En une lettre datée d'Egmond, du 13 décembre de la même année, il en fait reproche à Mersenne :

Je m'étonne que vous ayez gardé quatre ans cette expérience, ainsi que le dit M. Pascal, sans que vous m'en ayez jamais rien mandé, ni que vous ayez commencé à la faire avant cet été ; car, sitôt que vous m'en parlâtes, je jugeai qu'elle était de conséquence et qu'elle pourrait grandement servir à vérifier ce que j'ai écrit de physique³⁰.

Nous retrouverons plus tard Descartes à cette époque. Ce qu'il convient de retenir, c'est comment, pour les cartésiens, l'hypothèse de la « colonne d'air » semblait liée à l'affirmation du plein. Par la faute de Galilée, nous allons voir comment l'affirmation du vide allait sembler exclure cette même hypothèse.

3 – Galilée et l'horreur limitée du vide

En ses *Discours sur deux sciences nouvelles*, parus en 1638³¹, Galilée disserte longuement de l'horreur du vide et de la gravité de l'air, sans d'ailleurs établir aucun rapprochement entre ces deux questions, dont Torricelli allait montrer l'intime connexion.

Galilée est partisan de la théorie scolastique de l'horreur du vide (*repugnanza al vacuo*), c'est-à-dire de la tendance qu'ont les corps à demeurer contigus, attribuant l'élévation de l'eau dans les pompes à l'horreur du vide. Les scolastiques, sur la foi de Héron de Byzance, ne doutaient point qu'on pût élever l'eau à telle hauteur qu'on voudrait avec une pompe suffisamment haute ; et, dans son *Voyage du monde de Descartes*, le père Daniel, en 1690, se moque des péripatéticiens qui maintenaient encore cette possibilité, en parlant avec une emphase comique des beaux jets d'eau, et si gros, et si hauts qu'on voit dans le monde d'Aristote :

Ils avaient pour le moins, écrit-il, quatre-cents toises de hauteur, et venaient d'une rivière, qui se trouvait derrière une montagne voisine, plus haute encore que le Puy-de-Dôme en Auvergne, sur laquelle on avait fait monter l'eau par le secret admirable de l'ancienne philosophie, qui, en supposant l'horreur du vide dans la nature, apprenait, avec des pompes aspirantes, à élever l'eau à l'infini³².

Or, une telle conséquence ne pouvait se concilier avec l'observation des fontainiers de Florence sur l'existence d'une limite supérieure (*la altezza*

30. *D. A.*, V, 98.

31. [NdE – Indiqué par erreur 1631.]

32. *Voyage du monde de Descartes*, Paris, 1690, p. 111.

limitatissimo) imposée à l'ascension de l'eau dans les pompes aspirantes, observation que Sagredo rappelle dans le *Dialogue* et qui semble, au témoignage de Salomon de Caus, en un livre écrit en 1615, avoir été un fait d'expérience bien connu des ingénieurs hydrauliciens de ce temps. Force était à Galilée de remanier la doctrine scolastique en tenant compte de cette donnée nouvelle.

Au lieu d'attribuer à la répugnance au vide une puissance infinie, il admet que l'*horror vacui* peut être moins puissante que la gravité, comme c'est le cas dans une pompe aspirante, quand l'eau soulevée dépasse, quel que soit le diamètre du corps de pompe, la hauteur de trente-deux pieds. L'horreur du vide est donc une force déterminée et mesurable. Le poids, dont la traction est suffisante pour séparer les deux surfaces contiguës de l'eau et du piston dans le cas d'une pompe aspirante, mesure la puissance dont est capable l'horreur du vide (*la quantità della forza del vacuo*) ou encore, comme le dit l'interprète de Galilée dans les *Dialogues*, Salviati :

Si nous pesons le cylindre d'eau que contient un canal quelconque, large ou étroit, haut de dix-huit brasses, nous connaissons la valeur de la résistance du vide.

Galilée admet donc, comme le lui suggérait Baliani et contre l'enseignement des péripatéticiens, que la violence qu'il faut faire subir à la nature pour produire un espace vide a une valeur limitée ; mais il ne va pas jusqu'à regarder le poids de l'air comme l'explication de cette résistance au vide. En cela, il reste bien en deçà du physicien génois, dont Torricelli va reprendre l'hypothèse.

4 – Torricelli et Ricci

C'est l'observation des fontainiers de Florence, rapportée par Galilée dans les *Discorsi*, qui dut suggérer à un lecteur inventif le moyen de produire le vide bien plus commodément qu'avec une pompe aspirante, en utilisant du mercure dans un tube de verre.

La lettre à Ricci ne dit pas nommément que Torricelli fut l'inventeur de l'expérience barométrique : « J'ai déjà annoncé à votre Seigneurie qu'il se faisait une expérience de physique sur le vide... » En France, on la dénommera *l'expérience d'Italie*. Dans le tome III de ses *Novarum observationum physico-mathematicarum*, Mersenne déclare :

Il est certain tout d'abord que le vide au moyen du tube de verre a été observé en Italie, avant que de l'être en France ; et je pense par le très illustre Evangelista Torricelli.

En sa *Lettera a Filateli di Furiauro Antiate della vera Storia della Cicloide et della famosissima Esperianza dell'Argento vivo*, parue à Florence en 1663, C. Rob. Dati est plus explicite.

Sachez donc, ô Filateli, que Torricelli, en l'année 1643, alors qu'il demeurerait à Florence, fut le vrai et l'unique inventeur de cette expérience, et de l'hypothèse de la pression de l'air, quoiqu'en prétendent, disent ou écrivent d'autres.

Torricelli n'avait pas seulement pour but de « faire le vide ». Il voulait réaliser un baromètre, c'est-à-dire « un instrument qui pût indiquer les changements de l'air, tantôt plus lourd et plus épais, tantôt plus léger et plus subtil ». Toutefois, une cause d'erreur lui empêche d'atteindre son but principal. Le niveau du mercure change pour une autre cause, dont il ne s'était point avisé : « par le chaud et le froid et très sensiblement, tout comme si la chambre (barométrique) était remplie d'air ».

Ricci admire la subtilité de son ancien maître. Mais, contre la colonne d'air, il répond en élevant des difficultés, dont la principale est la suivante. Si l'on place un couvercle sur la cuvette, l'air pèse sur le couvercle et ne pèse plus sur le mercure : pourtant, le vif-argent garde dans le tube la même hauteur. À cette objection, Torricelli répondit en une seconde lettre, du 28 juin 1644 :

Si votre Seigneurie place le couvercle sur le bassin de manière qu'il touche la surface du vif-argent, le vif-argent du tube restera suspendu comme auparavant, non pas à cause du poids de l'atmosphère, mais parce que le vif-argent est retenu. Si elle place le couvercle de manière à enfermer dans le bassin une certaine quantité d'air, je demande si votre Seigneurie admet que l'air enfermé soit au même degré de condensation que l'air extérieur ; alors, le vif-argent se soutiendra à la même hauteur qu'auparavant... *Mais si l'air enfermé est plus raréfié que l'air extérieur, le vif-argent descendra d'une certaine quantité ; s'il était infiniment raréfié, s'il y avait le vide, alors le vif-argent descendrait tout entier, pour peu que le bassin pût le contenir*³³.

Ces dernières lignes contiennent l'idée de l'expérience dite, par la suite, du *vide dans le vide*. Avec une sûreté de vue infaillible, le Florentin diagnostique les conditions de l'expérience cruciale qui permettra de vérifier

33. [NdE – Souligné par L. Rougier.]

définitivement son hypothèse. Avant que Pascal, Auzoult et Roberval la réalisent, les alternatives théoriques en présence desquelles se trouvaient les esprits, par le jeu des systèmes, étaient les suivantes :

- I - admettre, avec Descartes, le plein et l'hypothèse de la colonne ;
- II - admettre, avec Galilée, le vide et chercher dans l'horreur limitée du vide l'explication de la suspension du liquide ;
- III - admettre, avec Torricelli, le vide et l'hypothèse de la colonne.